



BEST AVAILABLE COPY

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Patentschrift**  
⑩ **DE 44 41 327 C 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**C 12 N 15/79**  
C 12 N 5/10  
A 61 K 48/00  
A 61 K 35/34  
// C12Q 1/18, G01N  
33/15

⑳ Aktenzeichen: P 44 41 327.0-41  
㉔ Anmeldetag: 22. 11. 94  
㉕ Offenlegungstag: —  
㉖ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 9. 11. 95

DE 4441327 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

㉗ Patentinhaber:  
Institut für Pflanzengenetik und  
Kulturpflanzenforschung, 06466 Gatersleben, DE

㉘ Erfinder:  
Franz, Wolfgang-Michael, Dr., 69120 Heidelberg, DE;  
Wobus, Anna M., Dr., 06466 Gatersleben, DE

⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht gezogene Druckschriften:  
Differentiation 48, S. 173-182, 1991;

⑤4 Embryonale Herzmuskelzellen, ihre Herstellung und ihre Verwendung

DE 4441327 C 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft embryonale (kardiomyozytäre und kardiomyoblastäre) Herzmuskelzellen, ihre Herstellung und ihre Verwendung, insbesondere zur zellvermittelten Gentransplantation. Anwendungsgebiete der Erfindung sind die Medizin und die Gentechnik.

Es gibt bereits mehrere Arbeiten, die sich mit Herzmuskelzellkulturen von Säugetieren beschäftigen. Die ersten Untersuchungen wurden mit Primärkulturen von embryonalem, neonatalem oder adultem Herzmuskelgewebe durchgeführt. Vorteilhafter ist die Verwendung von permanenten Zelllinien von kardiomyozytärem Gewebe, weil man damit größere Mengen einer homogenen Zellpopulation auf einem definierten Entwicklungsstand zur Verfügung stellen kann. Deshalb hat es eine Reihe von Versuchen zur Immortalisierung von Herzmuskelzellen gegeben (u. a. A. Sen et al, J. Biol. Chem. 263/1988/19132—19136). Alle bisherigen Zelllinien haben jedoch den Nachteil, daß sich bei einer Langzeitkultivierung funktionelle Defekte bemerkbar machen.

Die Erfindung hat das Ziel, ausgehend von pluripotenten embryonalen Stammzellen (ESC) oder Primordialen Keimzellen (EGC, Stewart et al, Dev. Biol. 161/1994/ 626—628) nach deren Differenzierung in spontan Pulsierende Herzzellen embryonale kardiomyozytäre bzw. kardiomyoblastäre) Herzmuskelzellen zu gewinnen, welche weitgehend identische Eigenschaften mit Herzmuskelgewebe besitzen. Diese Zellen sollen für einen therapeutischen Einsatz, ggf. nach zusätzlicher gentechnischer Veränderung, geeignet sein. Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Vektorsystem zur Modifizierung der Stammzellen zu konstruieren und ein Selektionsverfahren für die transfizierten Zellen zu entwickeln.

Die Erfindung wird mit modifizierten embryonalen Stammzellen gemäß Anspruch 1 bis 4, den Vektorsystemen gemäß Anspruch 5 und 6 und den Selektionsverfahren gemäß Anspruch 7 realisiert. Zum Schutzzumfang der Erfindung gehört auch die Verwendung der modifizierten embryonalen Stammzellen gemäß Anspruch 8 bis 10.

Die erfindungsgemäßen Vektoren bestehen aus folgenden Bestandteilen:

- a) der regulatorischen, 2,1 kb langen DNA-Sequenz des ventrikelspezifischen Myosin-Leicht-Kette-2 (MLC-2v) als Promotor, dem selektionierbaren Markergen  $\beta$ -Galaktosidase und dem Reportergen Neomycin als Fusionsgen "pgeo" und dem SV40-PolyA-Tail (pAA) und ggf. einer Position zur Aufnahme von immortalisierenden Genen.
- b) der regulatorischen DNA-Sequenz des Herpes-simplex-Virus Thymidinkinase-Promotors (HSV-Tk), dem selektionierbaren Markergen Hygromycin und dem SV40-PolyA-Tail (pAA).

Mit diesen Vektoren werden pluripotente embryonale Stammzellen in vitro transfiziert. Die erfolgreich transfizierten Zellen werden im ersten Schritt mit Hilfe von Hygromycin selektiert. Hygromycin-resistente Zellen werden dann zu sog. Embryoidkörpern ("embryoid bodies") differenziert. Danach erfolgt eine Selektion der Hygromycin-resistenten Embryoidkörper mit dem Zellgift Geneticin (G418). Die erhaltenen Zellen werden weitergezüchtet und auf ihre Zusammensetzung (Genexpression, Proteine), ihre Funktion und ihre kontraktilen Eigenschaften untersucht.

Als Ausgangsmaterial können embryonale Stammzellen (ESC) oder primordiale Keimzellen (EGC) unterschiedlichster Herkunft, u. a. von Maus, Ratte, Schwein, Rind, Hund, Kaninchen, Hamster, einschließlich menschlicher Zellen, eingesetzt werden.

Die erfindungsgemäßen Vektoren und der Ablauf des Zellselektionsverfahrens sind in Abb. 1 dargestellt.

Weiterer Gegenstand der Erfindung sind Zellen, die neben den genannten Vektoren a) und b) auch noch therapeutische Gene wie z. B. die Angiogenesefaktoren VEGF oder bFGF enthalten, welche durch viralen oder nichtviralen Gentransfer eingebracht wurden. Die so erhaltenen Zelllinien können — mit oder ohne virale Sequenzen — zur zellvermittelten Gentransplantation, insbesondere zum Aufbau gesunden Gewebes und zur Unterstützung kontraktile Funktionen, verwendet werden.

Eine weitere wichtige Verwendung der erfindungsgemäßen Zelllinien besteht in der in-vitro-Testung von biologisch aktiven Substanzen, insbesondere zur Untersuchung pharmakologisch relevanter Substanzen oder zur Feststellung toxischer Wirkungen exogener Wirkstoffe an Herzzellen in Kultur. Damit werden insbesondere in Screeningprogrammen Tierversuche eingespart und damit dringende Forderungen der Öffentlichkeit nach Tierversatzmodellen erfüllt.

Die Zelllinien können weiterhin als Vesikel für einen lokalen Gentransfer in das Myokard dienen. Dazu werden die gewünschten therapeutischen Gene durch ein virales, bevorzugt mit einem Adenovirus- oder einem Adenovirus-assoziierten-Virus-Shuttle-Vektor, oder ein nichtvirales Gentransferverfahren transfiziert. Bevorzugt erfolgt die Verpackung der Gene mit dem AAV-Vektor pSub201.

Durch die Erfindung wird erstmalig ermöglicht, Herzmuskelerkrankungen mit Hilfe des zellulären Gentransfers zu behandeln (Gentherapie). Das bedeutet einen erheblichen medizinischen Fortschritt, insbesondere können auch Erkrankungen wie ischämische und kongenitale Kardiomyopathien künftig mit größeren Erfolgsaussichten therapiert werden.

Die Erfindung soll nachfolgend durch Ausführungsbeispiele näher erläutert werden.

1. Klonierung der Vektoren zur Selektion embryonaler (kardiomyozytärer und kardiomyoblastärer) Herzmuskelzellen

Zum Aufbau der Vektoren geht man von folgenden Elementen aus:

2.1 kb MLC-2v Promotor (klonierbar mit KpnI und EcoRI), Fusionsgen pgeo (klonierbar mit BamHI), SV40-PolyA (klonierbar mit SacI) und Tk-Hygromycin Fusionsgen im Blueskript KS-Vektor. Wie in Abb. 1 dargestellt, werden aus diesen Elementen 2 Vektoren für die Kotransfektion in pluripotente embryonale Stammzellen erstellt:

- (A) 2,1 MLC-2v-pgeo
- (B) Tk-Hygromycin.

2. Kotransfektion der Vektoren in pluripotente Stammzellen (ES-Zellen) und Selektion mit Hygromycin B

Als Pluripotente Stammzelllinie kann jede ES-Zelllinie verwendet werden, die in Kardiomyozyten differenziert (Wobus et al, Differentiation 48/1991/ 173—182), z. B.

die Linie D3 (Doetschmann et al, J. Embryol. Exp. Morphol. 3/1985/, 27—45). Die D3-Zellen werden auf gelatinisierten Platten mit standardisiertem Kulturmedium auf feeder-layer oder in Anwesenheit des rekombinanten "Leukemia-Inhibiting-Factor"(LIF) kultiviert. Der LIF entspricht dem "Differentiation Inhibiting Factor", welcher die Differenzierung der ES-Zellen verhindert und die Zellteilung der pluripotenten ES-Zellen fördert. Die in Abb. 1 dargestellten DNA-Konstrukte werden durch Elektroporation in die ES-Zellen eingebracht. Hierfür werden die Vektoren mittels Restriktionsverdau linearisiert und in einer Konzentration von 25 µg/ml mittels Elektroporation transfiziert. Danach werden die Pluripotenten ES-Zelllinien im LIF/ES-Zellmedium expandiert. In den undifferenzierten ES-Zellen ist nur der Thymidinkinase-Promotor aktiv, was zu einer Expression des Hygromycin-Resistenzgens führt. Durch Zugabe von Hygromycin B werden die ES-Zellen auf den Einbau der Fremd-DNA hin selektioniert (Positiv-Selektion).

### 3. Nachweis der Integration von MLC-2v-βgeo in ES-Zellen und "embryoid-bodies"

Zur Gewinnung von "embryoid bodies" wird das Differenzierungssystem des hängenden Tropfens benutzt. Hierbei wird eine Zellsuspension, die etwa 400—600 ES-Zellen in 20 µl enthält, auf die Deckel von Petrischalen pipettiert, die mit einer physiologischen Pufferlösung gefüllt sind. Die Zellen sammeln sich im Tropfen und bilden nach zwei- bis dreitägiger Inkubation "embryoid bodies". Nach 7 Tagen werden die "embryoid bodies" auf Mikrotestgewebekulturschalen übertragen, wo sie auf dem Gelatine-beschichteten Substrat anhaften. Während der darauffolgenden Kultivierung wachsen verschiedene Zelltypen, u. a. Herzmuskelzellen, aus (Abb. 2). Zwei bis zehn Tage nach Ausplattierung enthalten etwa 80 bis 90% der ausgewachsenen "embryoid bodies" Kolonien spontan und synchron kontrahierender Herzmuskelzellen (Wobus et al, 1991). In diesen embryonalen Herzmuskelzellen ist der MLC-2v Promotor aktiv. Bei erfolgreicher Transfektion und Integration des MLC-2v-βgeo Vektors in das Genom der ES-Zellen kommt es zur Expression des Fusionsgens β-Galaktosidase/Neomycin. Durch Blaufärbung im β-Galaktosidase-Assay lassen sich die kardiomyozytären Zellen, welche klonalen Ursprungs sind, identifizieren.

### 4. Selektion embryonaler kardiomyozytärer und kardioblastärer Zellen

In einem zweiten Schritt werden die positiven ES-Zellklone, welche sowohl das Tk-Hygromycin als auch das MLC-2v-βgeo Fusionsgen enthalten, erneut expandiert und ein Teil unter den oben beschriebenen Bedingungen zur Differenzierung in "embryoid bodies" gebracht. Zum Zeitpunkt der kardiomyogenen Differenzierung im Embryoidkörper wird das Zellgift Geneticin (G418) in einer Konzentration von 300 µg/ml zu den "embryoid bodies" gegeben. Damit werden die embryonalen (kardiomyozytären bzw. kardiomyoblastären) Herzmuskelzellen in einem frühen Stadium selektiert.

Die gewonnenen Zellen werden auf gewebespezifische Genexpression, funktionelle Eigenschaften mit Hilfe elektrophysiologischer Techniken und auf ihre kontraktilen Eigenschaften untersucht, die Zusammensetzung der kontraktilen Proteine wird mit entsprechenden monoklonalen Antikörpern charakterisiert. Im Rah-

men einer Gentherapie können teilungsfähige schlagende Zellen anschließend auf adulte und neonatale kardiomyopathische mdx-Mäuse nach Thorakomie und direkter Injektion in das Myokard übertragen werden.

### Patentansprüche

1. Embryonale Herzmuskelzellen, enthaltend zwei Genkonstrukte aus zwei verschiedenen regulatorischen DNA-Sequenzen und zwei verschiedenen selektionierbaren Markergenen.
2. Embryonale Herzmuskelzellen gemäß Anspruch 1, enthaltend zwei Genkonstrukte aus
  - a) regulatorischer, 2,1 kb langer DNA-Sequenz des Ventrikelspezifischen Myosin-Leicht-Kette-2 (MLC-2v) Promotors, dem selektionierbaren Markergen β-Galaktosidase und dem Reportergen Neomycin,
  - b) regulatorischer DNA-Sequenz des Herpes-simplex-Virus-Thymidinkinase-Promotors und dem selektionierbaren Markergen Hygromycin.
3. Embryonale Herzmuskelzellen gemäß Anspruch 1 und 2, enthaltend zusätzlich immortalisierende Gene und/oder durch homologe Rekombination inaktivierte Gene und/oder ein oder mehrere therapeutische Gene.
4. Embryonale Herzmuskelzellen gemäß Anspruch 1 bis 3, enthaltend zusätzlich Sequenzen des Adenovirus (Ad) oder des Adenoassoziierten Virus (AAV).
5. Embryonale Herzmuskelzellen gemäß Anspruch 1 bis 4, enthaltend zusätzlich einen Angiogenesefaktor, bevorzugt "vascular endothelial growth factor", VEGF, oder "basic fibroblast growth factor", bFGF, unter der Kontrolle eines in diesen Zellen aktiven Promotors als therapeutisches Gen.
6. Vektor, bestehend aus MLC-2k Promotor, selektionierbarem Markergen β-Galaktosidase und dem Reportergen Neomycin als Fusionsgen "βgeo", SV40-Poly A-Tail und ggf. einer Position zur Aufnahme von immortalisierenden Genen.
7. Vektor, bestehend aus regulatorischer DNA-Sequenz des Herpes-simplex-Virus-Thymidinkinase-Promotors und dem selektionierbaren Markergen Hygromycin.
8. Verfahren zur Herstellung von Zellen nach Anspruch 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß embryonale Stammzellen (ESC) oder primordiale Keimzellen (EGC) mit den Vektoren nach Anspruch 6 und 7 kotransfiziert werden, die Selektion der embryonalen Stammzellen mit dem Zellgift Hygromycin erfolgt, nach Induktion der in vitro Kardiogenese anschließend die Selektion der embryonalen Herzzellen mit dem Zellgift Geneticin (G418) erfolgt, die erhaltenen Zellen ggf. mit den gewünschten therapeutischen Genen durch ein virales, bevorzugt mit einem Adenovirus- oder einem Adenovirus-assoziierten-Virus-Shuttle-Vektor, oder ein nichtvirales Gen-transferverfahren transfiziert werden.
9. Verwendung der embryonalen Herzmuskelzellen nach Anspruch 1 bis 4 zur zellvermittelten Gentransplantation, insbesondere zum Aufbau gesunden Gewebes und zur Unterstützung kontraktile Funktionen.
10. Verwendung der embryonalen Herzmuskelzellen nach Anspruch 1 bis 4 zur Untersuchung von

Substanzen, insbesondere für pharmakotoxikologische Untersuchungen.

11. Verwendung der embryonalen Herzmuskelzellen nach Anspruch 1 bis 5 für den Transfer therapeutischer Gene in das Myokard.

5

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

10

15

20

25

30

35

40

45

50

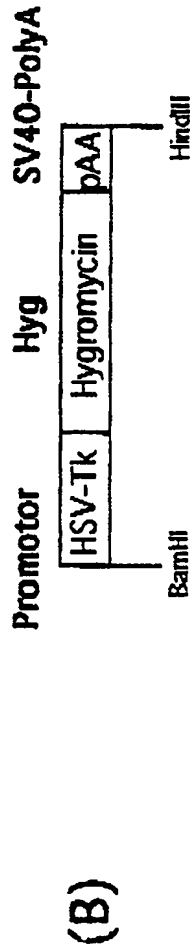
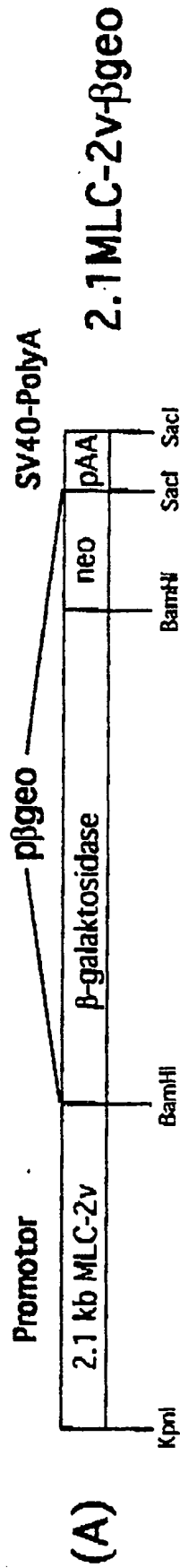
55

60

65

# Abbildung 1:

## Selektion der embryonalen Herzmuskelzellen



(C) Kotsransfektion von Tk-Hygromycin und 2.1MLC-2v-βgeo in ES<sup>(EG)</sup>-Zellen

- Selektion der transfizierten ES<sup>(EG)</sup>-Zellen mit Hygromycin
- Differenzierung der Hyg-resistenten ES<sup>(EG)</sup>-Zellen zu "embryoid-bodies"
- Selektion von Herzmuskelzellen aus "embryoid-bodies" mittels G418
- Charakterisierung der Hyg- und G418-resistenten Zellen auf kardiomyozytäre bzw. kardiomyoblastäre Eigenschaften

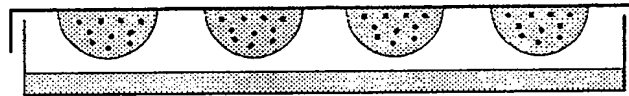
**This Page Blank (uspto)**

*Abbildung: 2*

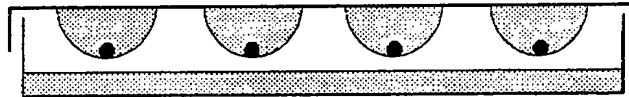
Embryonale Stammzellen kultiviert auf "feeder layer"



Kultivierung von 400 oder 600 Zellen/20µl Medium  
in hängenden Tropfen



Inkubation für 2 Tage



Umsetzen der "embryoid bodies" und  
Kultivierung in Suspension



Inkubation für 5 Tage



Ausplattieren von "embryoid bodies"  
auf 24-well Gewebe-Kulturplatten



Inkubation bis zu 20 Tagen



1. PCR Analyse
2. Enzymatische Dissoziation  
der Cardiomyocyten
3. Immunfluoreszens
4. "Patch-clamp"- Versuche

**This Page Blank (uspto)**

**This Page Blank (uspto)**